

Fe-Bサブミクロン球形微粒子の構造と磁気特性に関する研究

著者	方 冰川
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	90-91
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00128990

修士学位論文要約（令和2年3月）

Fe-B サブミクロン球形微粒子の構造と磁気特性に関する研究

方 氷川

指導教員：安藤 晃， 研究指導教員：遠藤 恭

Study on Structure and Magnetic Properties of Submicron Fe-B Particles

Bingchuan FANG

Supervisor: Akira ANDO, Research Advisor: Yasushi ENDO

In this master thesis, the structure and magnetic properties of submicron Fe-B particles synthesized with an aqueous method were studied. All particles were spherical and amorphous state. They also possessed excellent magnetic softness and high FMR frequency of about 3.0 – 3.6 GHz, but have low permeability. Therefore, Fe-B particles were chained along one direction by applying DC magnetic field to Fe-B composites and the uniaxial anisotropy was induced in this direction. The permeability of these composites could be increased. These results suggest that the composite consisting of chained submicron Fe-B particles were one of the candidates as application to high frequency devices.

1. はじめに

アモルファス金属微粒子は電気抵抗率が高く、渦電流損失が低く、かつ FMR 周波数が高いため、次世代高周波材料として注目されている。なかでも、Fe-B アモルファス微粒子はキュリー温度(T_c)[1]が高いため、高周波磁気デバイスへの応用が期待され、それらの構造と磁気特性を詳細に把握することが重要である。しかしながら、サブミクロン領域の粒径を有する Fe-B アモルファス微粒子における構造、磁気特性などに関する研究報告がほとんど行われておらず、それらの特性に関する詳細な理解を至っていない。したがって、Fe-B サブミクロンアモルファス微粒子の構造および磁気特性を解明することが急務である。本研究では Fe-B サブミクロン球形微粒子の構造および磁気特性について検討し、議論を行った。

2. Fe-B サブミクロン微粒子の構造および磁気特性

Fe-B サブミクロン微粒子の合成には水溶液還元法[2]を用いた。合成した Fe-B 微粒子の形状観察に関しては SEM、構造に関しては XRD および TEM を用いて評価を行った。また、合成した Fe-B サブミクロン微粒子の磁気特性に関しては VSM、複素透磁率測定装置を用いて評価を行った。

まず合成した Fe-B サブミクロン微粒子の形状に関しては、いずれの粒径においても球状であり、ある程度分散したことを確認した。また、構造に関しては、いずれの粒径においても XRD 回折ピークは観測されず、TEM による回折パターンはハローパターンとなった。このことから、アモルファス状態となっている

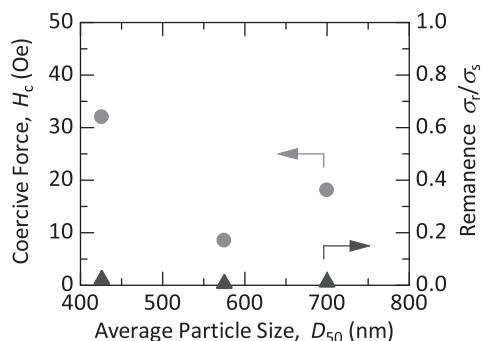


図1 Fe-B サブミクロン微粒子における保磁力(H_c)および残留磁化比(σ_r/σ_s)の平均粒径(D_{50})依存性

ことがわかった。

このような形状、構造を有する Fe-B サブミクロン微粒子の磁気特性を評価するために、磁化曲線測定および解析を行い、得られた保磁力(H_c)および残留磁化比(σ_r/σ_s)を平均粒径(D_{50})を関数としてまとめた(図1)。 H_c は、 D_{50} の減少にともない、いったん減少し、その後増加した。 σ_r/σ_s は、 D_{50} に存せずほぼ一定となった。それらの値は 0.005 – 0.02 と低くなった。これらの結果は、合成した Fe-B サブミクロン微粒子が比較的良好な軟磁気特性を有していることを示している。

さらに、合成した Fe-B サブミクロン微粒子の高周波磁気特性を理解するために、樹脂と混合したコンポジット材における透磁率の周波数特性を評価し、

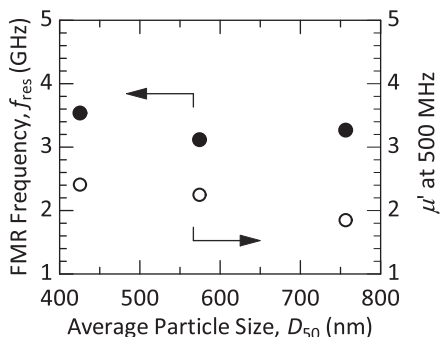


図 2 Fe-B 微粒子コンポジット材における周波数 500 MHz での複素透磁率の実部 (μ') および FMR 周波数の平均粒径 (D_{50}) による変化

FMR 周波数と 500 MHz での透磁率を D_{50} を関数としてまとめた(図 2)。FMR 周波数は、 D_{50} の減少にともない、やや減少した後、増加した。それらの値はおよそ 3.0–3.6 GHz となった。また、 μ' は、 D_{50} の減少にともない増加し、それらの値は 1.8–2.4 と低かった。これらの結果は、Fe-B サブミクロン微粒子の高周波磁気デバイスへ応用するためには、透磁率の向上が最重要課題の 1 つであることを示している。

3. 配列した Fe-B サブミクロン微粒子コンポジット材における形状と磁気特性

本章では、Fe-B サブミクロン微粒子における透磁率の向上のため、Fe-B サブミクロン微粒子を一方方向配列させて、誘導異方性の付与を試みた。

配列形状は、 D_{50} に関係なく一方方向に鎖状となった。これは、試料合成時に DC 磁界印加により Fe-B 微粒子同士の間における静磁的相互作用[3]が働いたことによるものと考えられる。

このような一方鎖状配列となる Fe-B サブミクロン微粒子の磁気特性に関しては、(図 3)、配列方向に平行に磁界を印加した磁化曲線の方が配列に垂直に磁界を印加した場合に比べて磁気飽和しやすくなった。これは、誘導異方性によるものと考えられる。したがって、これらの磁化曲線の差異から、一軸磁気異方性定数(K_u)と異方性磁界(H_u)を評価したところ、いずれの D_{50} においてもそれぞれ 15–16 kerg/cc とおおよそ 1.2–1.4 kOe 程度となった。

さらに、高周波磁気特性に関しては、(図 4)、 D_{50} の減少にともない、配列した鎖状 Fe-B サブミクロン微粒子コンポジット材の透磁率がゆるやかに増加した。とりわけ、 $D_{50} = 426$ nm のときには、その透磁率の値が球形の場合に比べて少し高くなった。このことから、粒径の小さい Fe-B サブミクロン微粒子を配列することにより、その微粒子の透磁率を向上させることが可能であるものと考えられる。

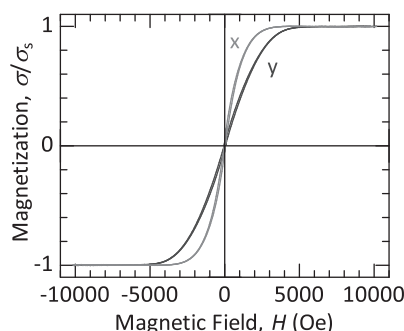


図 3 $D_{50} = 426$ nm の Fe-B 微粒子コンポジット材の磁化曲線(x と y 方向はコンポジット材面内の任意の DC 磁界印加方向とその直交方向)

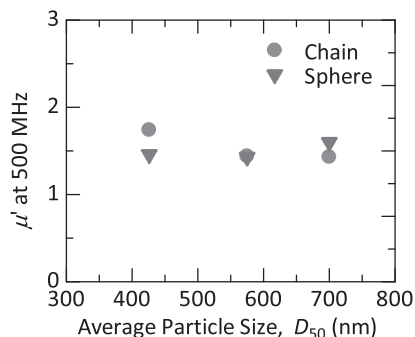


図 4 配列した chain 状 Fe-B サブミクロン微粒子コンポジット材における周波数 500 MHz での複素透磁率の実部 (μ') の平均粒径 (D_{50}) による変化

4. まとめ

水溶液還元法により合成した Fe-B サブミクロン微粒子の構造と磁気特性を評価し、以下の知見を得た。合成した微粒子は球形かつアモルファス状態となった。また、良好な軟磁気特性を示し、FMR 周波数が比較的高くなった。その一方で、透磁率が低くなった。この課題を解決するために、DC 磁界の印加によって粒径の小さい Fe-B サブミクロン球形微粒子を鎖状に配列し、一軸異方性を誘導し、その透磁率を向上させたことに成功した。以上の結果は、配列した Fe-B サブミクロン球形微粒子の高周波磁気デバイス応用が期待できることを示唆している。

文献

- [1] R. Hasegawa, R. C. O'Handley, L. E. Tanner, R. Ray, and S. Kavesh, Appl. Phys. Lett. 29(1976)219-221.
- [2] Y. Shimada, Y. Endo, M. Yamaguchi, S. Okamoto, O. Kitakami, Y. Imano, H. Matsumoto, and S. Yoshida, J. Phys. Soc. Jpn. 34(2010)220-225.
- [3] Y. Zhang, L. Sun, Y. Fu, Z. C. Huang, X. J. Bai, Y. Zhai, J. Du, and H. R. Zhai, J. Phys. Chem., 113(2009)8152-8157.